

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАЗМОТРОНОВ ДЛЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

*Ключевые слова:* плазмотрон, проектирование, качество, эффективность, безопасность.

В настоящий момент сравнительные параметры плазморезательной импортной продукции в большинстве случаев имеют лучшие показатели, чем российской – по материалу- и энергопотреблению, по параметрам качества, по степени автоматизации, по простоте управления и даже по дизайну установок. Для повышения эффективности и безопасности электроплазменных технологий были сформулированы общие подходы, которые лежат в основе проектирования плазменного оборудования для резки металлов. Задача проектирования таких плазмотронов должна решаться с учетом целого ряда принципов, которые можно классифицировать по функциональности, системности и оптимальности. Особое внимание следует обратить на принцип безопасности, как правило, не принимаемый в расчет при конструировании плазмотронов и требующий выполнения оптимизационных процедур при соблюдении системного подхода в проектировании. Оценка эффективности проектирования должна оцениваться различными методами автоматизированного и экспериментального анализа, иногда требующего разработки специфичных для плазменных технологий методик измерения (особенно при анализе факторов безопасности). Применение полученных в 70–80-е гг. XX в. полуэмпирическими методами критериально-параметрических соотношений для однотипных плазмотронов в настоящее время требует коррекции, учитывающей новые конструктивные решения. Необходимо также уточнение газодинамических параметров процесса, определяющих эффективность работы плазмотрона, также зависящих от конструктивных особенностей плазмотрона и технологии его применения. В качестве оценки эффективности проектирования можно использовать методы квалиметрического анализа [1], основанные на исследовании комплекса параметров, определённых по критериям функциональности, качества и безопасности.

Особое внимание при проектировании плазмотронов следует уделить анализу газодинамических особенностей течения плазмообразующего газа

(ПОГ) по газовоздушному тракту (ГВТ) плазмотрона – так они определяют не только эффективность и качество, но и безопасность работы плазмотрона. Теоретические расчеты газодинамических, электрических и теплофизических параметров плазмотронов следует проводить, учитывая потери давления в ГВТ плазмотронов с одно- и двухпоточными схемами газового распределения. Такой же учет требуется при определении частотных и энергетических характеристик шумоизлучения плазмотронов. При расчете потерь динамического напора в таких плазмотронах можно пренебречь вязкими потерями на участках с соотношением  $L/D_r < 10$  ( $L$  – длина,  $D_r$  – гидравлический диаметр участка), с площадью поперечного сечения  $F > 20 \text{ мм}^2$  при расходах ПОГ менее  $6 \text{ м}^3/\text{час}$ . В общем объеме потерь доля потерь на трение составляет  $\approx 25 \%$ . Инерционные потери давления в плазмотронах с вихревой стабилизацией составляют  $\approx 75 \%$  от общего количества потерь напора. Основной вклад в таких схемах дает завихритель ( $\approx 55 \%$  инерционных потерь). Общее количество потерь растет с увеличением расхода ПОГ, что накладывает ограничения на предельные значения расходов при заданном давлении газа (мощность нагнетания ПОГ). Снижение потерь давления по ГВТ способствует повышению кинетических и энергетических параметров плазменной струи, снижению тепловых потерь в сопловом узле плазмотрона. Оценку газодинамических параметров можно вести по упрощенным аппроксимирующим зависимостям для однотипных плазмотронов, избегая сложного многофакторного анализа, учитывающего все нюансы конструкций ГВТ и режимов работы плазменного оборудования.

На основе представленного анализа сформулированы принципы и методы газодинамического проектирования ГВТ плазмотронов, среди которых следует выделить:

а) необходимость разработки схем подачи ПОГ в целях уменьшения амплитудных колебаний потока, снижения радиальных и осевых градиентов скорости и зоны турбулентного смешения струи, создания условий для уменьшения вероятности сверхкритического излучения;

б) повышение эффективности газовихревой стабилизации плазменной дуги (струи) за счет создания системы газодинамических фильтров, снижающей неравномерность распределения потока газа по сечению ГВТ перед входом в завихритель;

в) снижение газодинамических потерь за счет оптимизации геометрии завихрителя (длины, количества каналов, площади сечения, шага винта, формы входных и выходных сечений каналов),

г) модернизация системы газовихревой стабилизации за счет подачи газа по двум центральносимметричным каналам с последующим применением

двух однонаправленных вихревых камер, формирующих поток ПОГ перед входом в сопловой узел (технология узкоструйной плазмы);

д) сопряженное (катод-сопло-завихритель) профилирование соплового узла для максимального обжата и стабилизации электрической дуги, создания условий для перемещения приэлектродных участков дуги по поверхности электродов, снижения турбулентных пульсаций (вероятности шунтирования и резонансного акустического излучения), формирования газодинамического и акустического профилей плазменной струи.

Проектирование можно вести, выбирая в качестве базовой конфигурации профиль сопла или катода. В случае проектирования по профилю соплового узла необходимо выбрать оптимальную аппроксимирующую зависимость площади проходного сечения ГВТ. Идеализированные (плавные) профили сопловых узлов требуют коррекции по теплофизическим, материаловедческим и технологическим критериям. В случае проектирования по профилю сопла такие корректировки несущественно влияют на характер изменения площади сечения ГВТ. Использование газовихревой системы стабилизации плазменной дуги в режимах, близких к максимально допустимым скоростям подачи ПОГ в сопловой узел из завихрителя, обеспечивает эффективное охлаждения сопла плазмотрона. Разработаны конструкции плазмотронов и их сменных частей (сопел, катодов) для резки и сварки, спроектированные с учетом сформулированных газодинамических и теплофизических принципов. Предложены и рассчитаны конкретные конфигурации сопловых узлов – с экспоненциальным, катеноидальным и эквидистантным профилями, а также с соплом Витошинского. Для резки металлов больших толщин рекомендованы однопоточные плазмотроны ПМВР-2(М) с оптимизированным ГВТ; для резки металлов толщиной до 30 мм – плазмотроны серии ПМВР-5, использующие двухпоточную технологию узкоструйной плазмы. Узкоструйная технология плазменной резки позволяет получить существенный экономический эффект по сравнению с другими видами (механической, газовой, однопоточной плазменной и т. д.) резки за счет увеличения производительности (на 15–30 %), а также уменьшения энергопотребления и материальных потерь путем минимизации зоны термического влияния разрезаемого металла, требующей дальнейшего механического удаления. Кроме того, следует учесть и повышенную надежность плазмотрона, улучшенные показатели качества и безопасности его работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анахов С. В. Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях : учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2014. 144 с.